

# ОТДЕЛЕНИЕ РАДИАЦИОННЫХ И РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Деятельность ОРРИ в 2000 г. была связана с исследованиями в области физики защиты и дозиметрии, радиобиологии, радиационного мониторинга на ядерно-физических установках ОИЯИ и в окружающей среде. Основными направлениями исследовательских работ были:

- спектрометрия и радиометрия нейтронов и радиационный мониторинг;
- исследования полей излучения вокруг толстых мишеней;
- физическое обеспечение радиобиологических экспериментов;

- расчеты и конструирование защит;
- исследования закономерностей и механизмов точечных и структурных мутаций, индуцируемых в клетках про- и эукариот излучениями с различными линейными передачами энергии (ЛПЭ);
- проблемы облучения малыми дозами с различными ЛПЭ и восстановления клеток;
- исследования терапевтической эффективности действия комплекса «метилтионин хлорид —  $^{211}\text{At}$ » на клетки меланомы.

## РАДИАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Были продолжены исследования опорных полей нейтронов на основе источника  $^{252}\text{Cf}$  в полиэтиленовых замедлителях. Проведено сравнение спектров нейтронов, рассчитанных методом Монте-Карло с учетом и без учета эффекта рассеяния в помещении, с экспериментальными спектрами. Определены дозовые характеристики опорных полей для целей градуировки дозиметров нейтронов [1].

Важной проблемой физики защиты при проектировании ядерно-физических установок является расчет полей рассеянного излучения, прошедшего через различные проемы и лабиринты в защите. Начаты работы по прогнозированию радиационной обстановки за защитами в такой геометрии расчетными методами.

Начались экспериментальные исследования полей излучения вокруг толстой мишени, облучаемой протонами с энергией 650 МэВ на фазотроне ЛЯП. Данная работа осуществляется в рамках проекта создания подкритической сборки на фазотроне. Толстая мишень имитирует сердечник сборки. Исследования по этой программе проводятся совместно с ЛЯП, ЛНФ и ЛИТ. В ходе первого этапа экспериментов

были выполнены измерения следующих характеристик полей излучения вокруг мишени:

- двойного дифференциального (по углу и энергии) распределения выхода нейтронов;
- угловых распределений выходов адронов (с различными энергетическими порогами);
- пространственных распределений выходов из мишени адронов (с различными энергетическими порогами);
- полного выхода адронов из мишени.

В измерениях использованы многосферный спектрометр нейтронов с широким энергетическим диапазоном и активационные детекторы. Спектры нейтронов из мишени под углами 45, 75 и 105° приведены на рис. 1 [2, 3]. Результаты эксперимента использованы для проверки корректности расчета межъядерного каскада вторичных частиц, генерируемых протонами в мишени. Получено хорошее согласие между расчетными и экспериментальными данными. Продолжается обработка данных по измерению скоростей реакции образования радионуклидов в мишени.

Совместно с ЛВЭ продолжены исследования полей излучения, генерируемых протонами с энергией 1 и 1,5 ГэВ в  $Pb + CH_2$ -сборке, для оценки сечений трансмутации радиоактивных отходов.

Счетчик нейтронов на основе In-детектора в полиэтиленовом замедлителе был разработан и изготовлен для детектирования термоядерных нейтронов в специфических условиях эксперимента (очень короткая длительность нейтронного импульса, высокий уровень  $\gamma$ -фона, мощные импульсные электромагнитные наводки и т.д.). Конструкция счетчика оптимизирована для достижения высокой чувствительности к быстрым нейтронам. Экспериментальные проверки показали хорошее согласие с расчетными значениями чувствительности счетчика [4].

С целью физического обеспечения радиобиологических экспериментов на нуклотроне ЛВЭ был проведен в декабре 2000 г. сеанс на ядрах  $^{12}C$  с энергией 1 ГэВ/нуклон, в ходе которого изучены возможности использования пучка ядер для облучения биологических образцов и проведены градуировка мониторов, а также облучение трековых и активационных детекторов для исследований параметров пучка ядер и откли-

## РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Радиобиологические исследования на клетках высших эукариот выполнялись с клетками млекопитающих в культуре и лимфоцитах периферической крови человека [6–15]. Проведено обобщение полученных данных по выходу стабильных и нестабильных aberrаций хромосом в лимфоцитах крови человека при действии ионизирующих излучений разного качества:  $\gamma$ -лучей (1–7 Гр), ускоренных протонов с энергией 1 ГэВ (0,25–3,6 Гр) и ионов азота  $^{14}N$  с ЛПЭ  $\sim 77$  кэВ/мкм (0,5–3 Гр). При исследовании частоты их образования с использованием классического метафазного и FISH-методов подтверждены некоторые ранее известные закономерности и выявлены новые качественные и количественные особенности действия излучений разного качества, касающиеся спектра индуцированных aberrаций. Так, среди aberrаций стабильного типа преобладали транслокации, а их вклад в общее число aberrаций находился в обратной зависимости от ЛПЭ-излучений: при воздействии  $\gamma$ -лучей и протонов на их долю приходилось 40–45 % aberrаций, а при облучении ионами азота —  $\sim 25$  %. Последнее определялось выраженной фрагментацией хромосом при облучении тяжелыми ионами, и в результате наблюдалось относительное снижение доли стабильных хромосомных aberrаций. Кроме того, полученные FISH-методом данные свидетельствовали о более высокой частоте повреждения хромосом 1 и 2 генома человека при действии исследованных видов ионизирующего излучения. Они могут служить подтверждением появившихся в по-

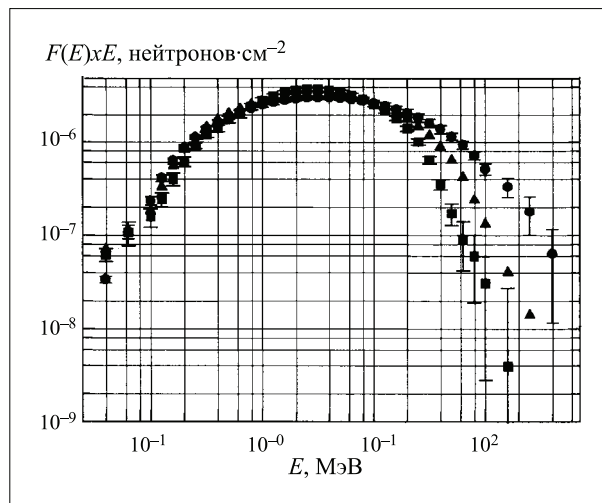


Рис. 1. Спектры нейтронов из толстой свинцовой мишени под углами: ● — 45°; ▲ — 75°; ■ — 105°

ков детекторов. Завершены аналогичные работы для пучков релятивистских протонов [5].

следнее время предположений о неодинаковой радиочувствительности разных хромосом человека.

Полученные данные по индукции стабильных aberrаций (транслокаций) хромосом были использованы для построения калибровочных кривых в плане использования таких aberrаций в качестве биоиндикаторов для оценки поглощенных доз излучений разного качества. Анализ показал, что в исследованном диапазоне доз точность оценки дозы  $\gamma$ -лучей и протонов составляет 7–15 %, а для ионов азота — около 20 %. Точность оценки повышается с ростом индуцирующей дозы.

Проведен анализ спонтанных и индуцированных излучениями разного качества ( $\gamma$ -лучами, протонами с энергией 1 ГэВ и ионами азота  $^{14}N$  с ЛПЭ  $\sim 77$  кэВ/мкм) HPRT-мутантов клеток млекопитающих. При выявлении и селекции мутантов наблюдалось появление клонов с замедленным ростом и увеличение доли таких мутантов (до 80–100 %) при высоких индуцирующих дозах  $\gamma$ -излучения (5–7 Гр) и действии ионов азота во всем диапазоне исследованных доз (до 3 Гр) облучения. При цитогенетическом анализе спонтанных и радиационно-индуцированных мутантных субклонов выявлена их гетерогенность по таким исследованным показателям, как митотическая активность, анеуплоидия, повышение уровня хромосомных aberrаций. Частота проявления хромосомной нестабильности мутантных субклонов снижалась с ростом ионизирующих ЛПЭ-излучений. Доля мутантов с повышенным уровнем хромосомных

аберраций по сравнению с интактным контролем составила: среди спонтанных мутантов — 71 %,  $\gamma$ -индуцированных — 47 %, индуцированных протонами — 33 % и ионами азота — 16 %. Наиболее высокой хромосомная нестабильность оказалась у спонтанных мутантов. Среди мутантных субклонов были выявлены группы мутантов, не отличающиеся от контроля по уровню хромосомных aberrаций: с уровнем, повышенным в 2–4 раза; с экстремально высоким уровнем aberrаций хромосом (более 30 % клеток с aberrациями) и тетраплоидные мутанты. При радиационно-индуцированном мутагенезе отмечено появление мутантов со сниженным в 2–4 раза по сравнению с интактным контролем уровнем хромосомных aberrаций. Доля таких генетически устойчивых клонов с низким уровнем aberrаций хромосом составила: среди  $\gamma$ -индуцированных мутантов — 16 %, индуцированных протонами — 8 %, ионами азота  $^{14}\text{N}$  — 48 %. Среди спонтанных мутантов они не были отмечены. Эти данные свидетельствуют о том, что при высоких ЛПЭ-излучениях увеличивается число генетически устойчивых мутантов.

Выявленная в наших экспериментах гетерогенность HPRT-мутантов по исследованным цитогенетическим показателям свидетельствует о том, что при мутагенезе в клетках млекопитающих неизбежно повышается вероятность нарушения целостности хромосом, что можно рассматривать как этап соответствующей перестройки генома, адекватной изменившимся условиям существования.

Продолжены исследования по эффектам малых доз облучения на клетки млекопитающих. Одним из важнейших аспектов этой проблемы является возможность экстраполяции эффектов, вызываемых высокими дозами облучения, на облучение в области низких доз. Ранее на клетках Китайского хомячка и меланомы человека с использованием анафазного анализа aberrаций хромосом был выявлен нелинейный характер зависимости доза–эффект, характеризующийся гиперчувствительностью при малых дозах (до 10–20 сГр), наличием обратной зависимости от дозы в диапазоне 10–30 сГр и индуцированной радиорезистентностью при более высоких дозах. Подтверждение такой аномальной дозовой зависимости получено на синхронизированных клетках Китайского хомячка, облученных в G-1-фазе клеточного цикла. Метафазный анализ aberrаций хромосом в первом пострадиационном митозе как по числу клеток с aberrациями, так и по числу aberrаций на клетку показал наличие ранее обнаруженных закономерностей. Аналогичная зависимость доза–эффект получена на клетках меланомы человека при использовании микроядерного теста, оценивающего реакцию клеточной популяции за весь клеточный цикл.

При изучении адаптивного ответа клеток меланомы человека по критерию aberrаций хромосом и по числу клеток с микроядрами установлено, что по микроядерному тесту величина адаптивного ответа выше, чем по индукции хромосомных aberrаций (0,55 и 0,80 соответственно). Предварительное облу-

чение клеток Китайского хомячка и меланомы человека в дозах, оптимальных для индукции адаптивного ответа (20 и 1 сГр соответственно), меняет форму кривой доза–эффект, фаза гиперчувствительности не выявляется, и даже имеет место восстановление части спонтанных хромосомных aberrаций. На основании полученных данных предполагается, что в основе нарушения линейности кривой доза–эффект и индукции адаптивного ответа лежат одни и те же процессы индуцибельной репарации, аналогичные по своим механизмам и различающиеся количественно у клеток разного типа.

Продолжены исследования по совершенствованию методов мишенной радиотерапии пигментной меланомы человека с использованием  $\alpha$ -излучающего радионуклида  $^{211}\text{At}$  и метилевого синего (МС). Оценивалась степень селективности действия  $^{211}\text{At}$  в комплексе с МС на клетки пигментной меланомы по сравнению с непигментированными клетками Китайского хомячка. Критерием оценки служила аккумуляция радионуклида в клетках при их инкубации с  $^{211}\text{At}$  — МС и  $^{211}\text{At}$  в ионной форме. Установлено, что накопление  $^{211}\text{At}$  — МС в клетках меланомы человека происходит в 3–4 раза эффективнее, чем в непигментированных клетках.  $^{211}\text{At}$  в ионной форме накапливается обоими типами клеток одинаково, в очень незначительном количестве. Эти результаты хорошо коррелируют с полученными ранее данными о том, что по критерию выживаемости клеток эффективность действия комплекса  $^{211}\text{At}$  — МС на клетки меланомы на порядок выше, чем на непигментированные клетки.

В экспериментах с дрожжевыми клетками *Saccharomyces cerevisiae* [16–21] изучалась индукция мутаций различной молекулярной природы под действием ионизирующей радиации. В качестве модельной системы для исследования тотального мутагенеза был взят ген CAN1, кодирующий аргининпермеазу и имеющий протяженность 1,8 т.п.о. Получена линейная кривая зависимости образования прямых мутаций в гене CAN1 от дозы при  $\gamma$ -облучении.

Для анализа микроделетий использовали возникновение реверсий у штаммов, имеющих мутации сдвига рамки считывания. Используемый в работе штамм имеет вставку 4 основания в гене LYS2 и вставку +1Т в последовательность 6Т в гене НОМ3. Реверсии к  $\text{Lys}^+$  и  $\text{Hom}^+$  по преимуществу представляют собой выпадение одного нуклеотида. Показано, что  $\gamma$ -лучи эффективно индуцируют мутации сдвига рамки считывания. Для сравнения приведены частоты индуцированного мутагенеза: частота прямых мутаций резистентности к канаванину ( $\text{CAN}^+$ ) составляет  $5,8 \cdot 10^{-5}$ ; мутации сдвига рамки считывания для реверсий к  $\text{Lys}^+$  —  $1 \cdot 10^{-6}$  и реверсий к  $\text{Hom}^+$  —  $1,6 \cdot 10^{-7}$  при дозе облучения 100 Гр. В пределах изученных доз (100–1000 Гр) зависимость частоты

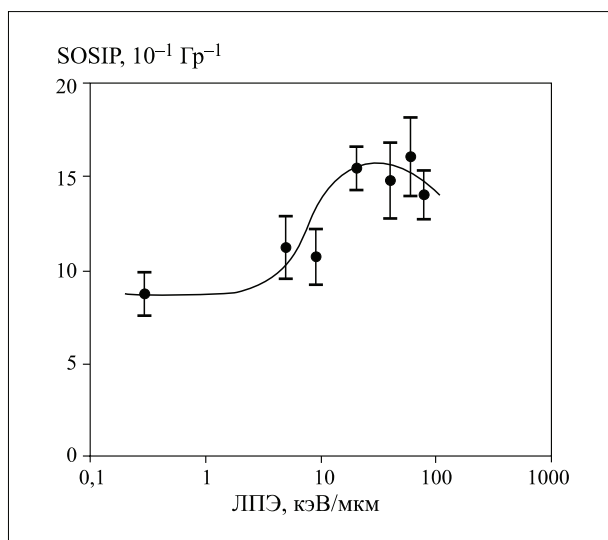


Рис. 2. Зависимость интенсивности SOS-ответа бактерий *E. coli* от ЛПЭ-излучений

ты мутаций сдвига рамки считывания от дозы носит линейный характер.

Ранее на системе, позволяющей тестировать замены пар оснований, были изучены закономерности индукции точечных мутаций под действием  $\gamma$ -излучения. В настоящее время ведутся работы по исследованию индукции точечных мутаций под действием ионизирующей радиации с разными физическими характеристиками. Были определены закономерности образования трансверсии АТ–ТА в диплоидных клетках дрожжей под действием ускоренных ядер гелия. Показано, что зависимость частоты мутаций от дозы в пределах до 1000 Гр носит нелинейный характер. Ядра гелия с ЛПЭ 80 кэВ/мкм индуцируют трансверсии менее эффективно, чем эти частицы с ЛПЭ 20 кэВ/мкм и  $\gamma$ -излучение.

Продолжены работы по изучению генетического контроля остановки клеточного цикла при получении повреждений ДНК, так называемый *checkpoint*-контроль. Для выяснения картины разветвленных путей *checkpoint*-контроля анализировали взаимодействие между генами RAD9, RAD24, RAD53 и генами SRM5/CDC28, SRM8, SRM12. Установлено, что ген CDC28 взаимодействует эпистатически с геном RAD9, но аддитивно с геном RAD53. Таким образом, протеинкиназа CDC28 и киназа RAD53 контролируют разные пути, определяющие радиочувствительность клеток. Гены RAD9 и RAD24 эпистатичны по отношению к гену RAD53 в отношении чувствительности к  $\gamma$ -излучению, что не противоречит данным, полученным при анализе остановки клеточного цикла в ответ на повреждения ДНК.

Продолжен анализ генов SRM1, SRM2, SRM5, SRM8, SRM12 в отношении чувствительности к летальному и мутагенному действию УФ- и  $\gamma$ -излучения и влиянию мутаций в этих генах на прохождение клеточного цикла.

В экспериментах с бактериальными клетками [22–28] были продолжены исследования по индукции точечных мутаций (образование *col B*- и *ton B*-мутантов) и делеций (образование *ton B trp<sup>-</sup>*-мутантов) при  $\gamma$ -облучении и действии ускоренных тяжелых ионов. Установлено, что частота образования *col B*- и *ton B*-мутантов описывается линейно-квадратичными зависимостями при действии всех видов использованных излучений ( $\gamma$ -кванты, ионы гелия с ЛПЭ = 20 и 78 кэВ/мкм, ионы углерода с ЛПЭ = 200 кэВ/мкм). С изменением ЛПЭ тяжелых заряженных частиц квадратичный участок дозовой кривой мутагенеза параллельно сдвигается относительно этой зависимости при  $\gamma$ -облучении. Зависимость относительной биологической эффективности (ОБЭ) от ЛПЭ описывается кривой с локальным максимумом, и наибольшей биологической эффективностью, равной ~ 2,8, обладают ионы гелия с ЛПЭ = 20 кэВ/мкм. Частота образования делеционных мутаций линейно зависит от дозы как  $\gamma$ -облучения, так и действия ускоренных ионов гелия и углерода (ЛПЭ = 78 и 200 кэВ/мкм соответственно). Наибольшую биологическую эффективность имеют ионы гелия.

Были продолжены опыты по изучению SOS-ответа клеток *E. coli* методом SOS-люкс-теста при действии тяжелых заряженных частиц: дейтронов (с ЛПЭ 5 и 9 кэВ/мкм), ионов гелия (с ЛПЭ 20, 40 и 80 кэВ/мкм), ионов углерода (с ЛПЭ 200 кэВ/мкм). Установлено, что зависимость SOS Induction Potency (SOSIP) от ЛПЭ-частиц описывается кривой с локальным максимумом в области 50–60 кэВ/мкм (рис. 2).

Полученные с помощью бактерий данные свидетельствуют о том, что в формировании генных мутаций у бактериальных клеток при действии разных видов излучений решающую роль играют повреждения ДНК комплексного типа. В отличие от этого делеционные мутации формируются главным образом из образующихся прямых и энзиматических двунитевых разрывов ДНК.

На бактериях *E. coli* начаты работы по исследованию закономерностей и механизмов индукции эксцизии мобильных элементов ионизирующими излучениями с разными физическими характеристиками. В экспериментах была использована новая система для мониторинга и изучения индуцированной мутабельности, основанная на индукции точной эксцизии транспозонов различными мутагенами. Точная эксцизия транспозонов является специфическим SOS-мутагенным процессом, в результате которого образуются делеционные мутации. Кардинально отличаясь от точечных мутаций по природе клеточной мишени для SOS-мутабельной машинерии, точная эксцизия транспозонов предполагает возможность обращения к процессам SOS-мутабельности, в ходе функционирования которой формируются геномные делеции, что подтверждает участие прямых повторов ДНК или палиндромных последовательностей в их формировании.



Получены кривые выживаемости штаммов *E. coli* дикого типа и репарационно-дефицитных (*recA*, *recN*), несущих различные транспозоны — Tn5 и Tn10. Определен характер зависимости частоты элиминации транспозонов от дозы  $\gamma$ -облучения. Кривые выживаемости изучаемых штаммов носят экспоненциальный характер. Показано, что зависимость частоты элиминации Tn10 от дозы  $\gamma$ -квантов имеет характер кривой с насыщением (максимумом). Для клеток дикого типа полностью отсутствует индукция эксцизии транспозона при мутации в гене *recA*. У *recN*-мутантов кривая занимает промежуточное положение. Результаты дают основание полагать, что гены *recA* и *recN* не только вовлечены в репарацию повреждений ДНК, но и осуществляют контроль индукции вырезания и встраивания транспозона Tn10 в геноме *E. coli*.

Были продолжены работы по изучению действия малых доз ионизирующей радиации в лабораторных экспериментах (на семенах гороха) и сочетанного действия на популяции подорожника, произрастающего в Балаковском районе Саратовской области и подвергающегося воздействию радионуклидных и химических загрязнений [29–32]. Изучались изменения физико-химических процессов (антиоксидантный статус семян), цитогенетические нарушения (выход клеток с хромосомными aberrациями корешков проростков семян и митотическая активность) и ада-

птивный ответ апикальных клеток растений. Проведенные исследования показали наличие изменений (по использованным критериям) в исследованных образцах по сравнению с контрольными участками.

Продолжены работы по *математическому моделированию влияния малых доз облучения на организм* [33–36]. На основе модели двух защитных реакций выполнен анализ стохастических радиобиологических эффектов при малых дозах облучения различных биологических объектов. Стохастическими эффектами являлись опубликованные в последнее десятилетие результаты эпидемиологических наблюдений смертности от рака людей, выход апоптоза тимоцитов у мышей и различного вида aberrации хромосом. Результаты анализа показали, что в зависимости от природы биологического объекта, спонтанного эффекта, условий облучения и вида излучения реализуется та или иная форма взаимосвязи доза–эффект: надлинейная (выпуклостью вверх), близкая к линейной и подлинейная (выпуклостью вниз), в том числе и с эффектом гормезиса. Этот результат свидетельствует о неполном соответствии наблюдаемым эффектам рекомендаций 1990 г. Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ), основанным на линейной беспороговой гипотезе о взаимосвязи доза–эффект. Вследствие этого методология оценки радиационного риска, рекомендованная МКРЗ, нуждается в уточнении.

## РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Радиационный контроль за облучением персонала на ядерно-физических установках ОИЯИ и при работе с радиоактивными источниками осуществлялся в 2000 г. с помощью автоматизированных систем радиационного контроля и переносными приборами. В ЛНФ проводились работы с оборудованием, имеющим высокую наведенную активность:

- разборка и перемещение в каньон-хранилище отработавшего подвижного отражателя реактора ИБР-2;
- работы по программе испытания криогенного замедлителя для зоны реактора ИБР-2.

Принятые организационно-технические меры по обеспечению радиационной безопасности и специальный дозиметрический контроль позволили не превысить планируемые дозы облучения персонала.

В ЛЯР в рамках проекта DRIBs (фаза 1) сотрудниками ОРБ измерены выход и спектрально-угловое распределение вторичных нейтронов, выходящих из производящей мишени ускорителя МЦ-400 в проектном режиме производства радиоактивных ионов. Оценена необходимая биологическая защита установки и даны рекомендации по ее сооружению.

В соответствии с соглашением ОИЯИ–НИКНЕФ (Нидерланды) и требованиями международных пра-

вил перевозки опасных радиоактивных грузов выполнена транспортировка из Амстердама в Дубну оборудования ускорителя НИКНЕФ, имеющего наведенную активность.

В 2000 г. на индивидуальном дозиметрическом контроле в ОИЯИ состояло 1810 человек, включая 73 прикомандированных специалиста. Средняя годовая доза в целом по ОИЯИ равна 1,8 мЗв. Наибольшее значение средней индивидуальной годовой дозы персонала лабораторий наблюдается в ЛЯР и составляет 2,8 мЗв. На фазотроне ЛЯР в результате грубых нарушений правил радиационной безопасности и неисправности в системе блокировок имел место случай повышенного облучения сотрудника.

Регулярный мониторинг окружающей среды по образцам почвы, растений (трава), воды из водоемов в окрестностях Дубны, водопроводной воды и воды на сбросе очистных сооружений подтвердил тот факт, что радиоактивность окружающей среды вокруг ОИЯИ остается постоянной в течение длительного времени и обусловлена лишь естественной радиоактивностью и продуктами глобальных выпадений. Какой-либо вклад в радиоактивность окружающей среды от ядерно-физических установок ОИЯИ не обнаружен.

## КОНФЕРЕНЦИИ И ОБРАЗОВАНИЕ

Международная конференция «Современные проблемы радиобиологии, радиэкологии и эволюции», посвященная 100-летию со дня рождения Н.В.Тимофеева-Ресовского, была проведена в Дубне в сентябре 2000 г. Конференция поддержана ЮНЕСКО, ИНТАС, Министерством промышленности, науки и технологий РФ, Генетическим обществом США и фондом Сороса. В конференции приня-

ли участие более 200 ученых из различных стран. Издан буклет, посвященный Н.В.Тимофееву-Ресовскому.

Успешно продолжался процесс обучения на кафедре «Биофизика» международного университета «Дубна». В 2000 г. на специальность «Радиационная безопасность человека и окружающей среды» зачислено 10 студентов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Aleinikov V., Beskrovnaja L., Florko B. *JINR Preprint E16-2000-144. Dubna, 2000.*
2. Bamblevski V.P. et al. *JINR Preprint E1-2000-307. Dubna, 2000.*
3. Bamblevski V. et al. *JINR Preprint E1-2000-308. Dubna, 2000.*
4. Timoshenko G., Krylov A., Bamblevski V. *JINR Preprint E13-2000-264. Dubna, 2000.*
5. Bamblevski V. et al. // *Radiat. Measurements. 2001. V. 33. No. 1. P. 151.*
6. Koshlan' I.V. et al. // *Abstr. of the Intern. Conf. «The Problems of Radiation Genetics at the Turn of the Century», Moscow, November 20–24, 2000. P. 37.*
7. Govorun R.D. et al. // *Abstr. of the Intern. Conf. «The Problems of Radiation Genetics at the Turn of the Century», Moscow, November 20–24, 2000. P. 87.*
8. Ренин М.В. // Автореферат канд. дисс., Обнинск, 2000. ОИЯИ 19-2000-250. Дубна, 2000.
9. Lukashova E. et al. // *Abstr. of the Workshop on «Higher-Order Structure of Cell Nuclei and Genetic Effects of Radiation», Valtice, Czech Republic, November 7–8, 2000. P. 20.*
10. Shmakova N. et al. // *Abstr. of the Workshop «Higher-Order Structure of Cell Nuclei and Genetic Effects of Radiation», Valtice, Czech Republic, November 7–8, 2000. P. 28.*
11. Кошлань Н.А., Кошлань И.В. // Тез. шк.-конф. «Горизонты физ.-химической биологии», Пуццино, 28 мая – 2 июня, 2000 г. Пуццино, 2000. С. 144.
12. Шмакова Н.Л. и др. // *Радиационная биология. Радиэкология. 2000. Т. 40. № 4. С. 405.*
13. Shmakova N. et al. // *Abstr. of the Intern. Conf. «Modern Problems of Radiobiology, Radioecology and Evolution», Dubna, September 6–9, 2000. P. 40.*
14. Shmakova N. et al. // *Abstr. of the Intern. Conf. «The Problems of Radiation Genetics at the Turn of the Century», Moscow, November 20–24, 2000. P. 45.*
15. Shmakova N. et al. // *Abstr. of the Intern. Conf. «Current Status of Nuclear Medicine and Radiopharmaceuticals», Obninsk, October 23–27, 2000. P. 308.*
16. Арман И.П. и др. // Тез. II съезда ВОГИС. 2000. Т. 2. С. 71.
17. Koltovaya N. et al. // *Abstr. of the Intern. Conf. «Modern Problems of Radiobiology, Radioecology and Evolution», Dubna, September 6–9, 2000. P. 70.*
18. Колтовая Н.А., Кадышевская Е.Ю. // *Abstr. of the Intern. Conf. «The Problems of Radiation Genetics at the Turn of the Century», Moscow, November 20–24, 2000. P. 130.*
19. Ljubimova K.A. et al. // *Abstr. of the Intern. Conf. «The Problems of Radiation Genetics at the Turn of the Century», Moscow, November 20–24, 2000. P. 150.*
20. Колтовая Н.А. и др. // *Генетика (в печати).*
21. Колтовая Н.А. и др. Препринт ОИЯИ Р19-2000-273. Дубна, 2000.
22. Борейко А.В., Булах А.П., Красавин Е.А. Сообщение ОИЯИ Р19-2000-110. Дубна, 2000.
23. Борейко А.В., Булах А.П. Сообщение ОИЯИ Р19-2000-109. Дубна, 2000.
24. Boreyko A.V., Bulah A.P. // *Abstr. of the Intern. Conf. «The Problems of Radiation Genetics at the Turn of the Century», Moscow, November 20–24, 2000. P. 11.*
25. Krasavin E. et al. // *Abstr. of the Intern. Conf. «Modern Problems of Radiobiology, Radioecology and Evolution», Dubna, September 6–9, 2000. P. 103.*
26. Krasavin E. et al. // *Abstr. of the Workshop «Higher-Order Structure of Cell Nuclei and Genetic Effects of Radiation», Valtice, Czech Republic, November 7–8, 2000. P. 19.*
27. Колова О.В., Кандиано Е.С., Малавиа Г. // *Радиационная биология. Радиэкология. 2000. Т. 40. № 1. С. 10.*
28. Колова О.В., Кандиано Е.С., Красавин Е.А. // *Радиационная биология. Радиэкология. 2000. Т. 40. № 4. С. 378.*
29. Корогодина В.Л. и др. // *Радиационная биология. Радиэкология. 2000. Т. 40. № 3. С. 334.*
30. Корогодина В.И., Петров Р.В., Поликарпов Г.Г. // *Наука в России. 2000. № 4. С. 21.*
31. Korogodin V., Polikarpov G., Velkov V. // *J. Biosci. 2000. V. 25. No. 2. P. 125.*
32. Корогодина В.И., Соснин Э.А., Пойзнер Б.Н. // *Рабочая книга по конструированию. Ч. I. Томск: изд-во Томск. ун-та, 2000.*
33. Зюзиков Н.А. и др. // Тез. шк.-конф. «Горизонты физ.-химической биологии», Пуццино, 28 мая – 2 июня, 2000. Пуццино, 2000. Т. 1. С. 293.
34. Корогодина В.И., Корогодина В.Л. *Информация как основа жизни. Дубна: Феникс, 2000.*
35. Комочков М.М. Препринт ОИЯИ Р19-2000-237. Дубна, 2000.
36. Khatko V., Komochkov M., Yanush A. *JINR Preprint E19-2000-175. Dubna, 2000.*